

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 985 810 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
15.03.2000 Patentblatt 2000/11

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: F02C 9/28

(21) Anmeldenummer: 98810903.9

(22) Anmeldetag: 10.09.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erreichungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:  
Die Erfindernennung liegt noch nicht vor

(74) Vertreter: Klein, Ernest et al  
Asea Brown Boveri AG  
Immaterialgüterrecht (TEI)  
Haselstrasse 16/699 I  
5401 Baden (CH)

(71) Anmelder: ABB RESEARCH LTD.  
8050 Zürich (CH)

(54) Verfahren und Vorrichtung zum Minimieren thermoakustischer Schwingungen in Gasturbinenbrennkammern

(57) Bei einem Verfahren zum Minimieren thermoakustischer Schwingungen in Gasturbinenbrennkammern wird eine modulierte Eindüsung von flüssigem oder gasförmigen Vormischbrennstoff in einen Vormischbrenner durchgeführt.

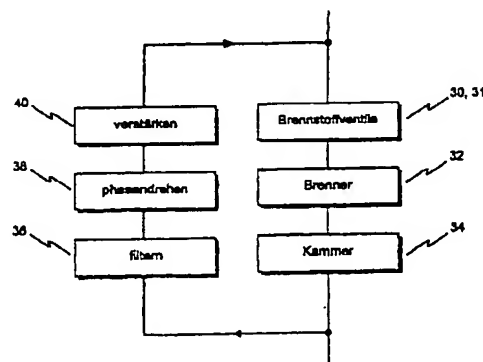


Fig. 3

EP 0 985 810 A1

## Beschreibung

### Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Minimieren thermoakustischer Schwingungen in Gasturbinenbrennkammern.

### Stand der Technik

[0002] Es ist bekannt, daß in Brennkammern von Gasturbinen häufig unerwünschte thermoakustische Schwingungen auftreten. Mit dem Begriff "thermoakustische Schwingungen" werden sich gegenseitig aufschaukelnde thermische und akustische Störungen bezeichnet. Es können dabei hohe Schwingungsamplituden auftreten, die zu unerwünschten Effekten, wie etwa zu einer hohen mechanischen Belastung der Brennkammer, einer erhöhten  $\text{NO}_x$ -Emission durch eine inhomogene Verbrennung und sogar zu einem Erlöschen der Flamme führen können. Dies trifft insbesondere für Verbrennungssysteme mit geringer akustischer Dämpfung zu. Um eine hohe Leistung in Bezug auf Pulsationen und Emissionen über einen weiten Betriebsbereich zu garantieren, kann eine aktive Kontrolle der Verbrennungsschwingungen notwendig sein.

[0003] Die strömungsmechanische Stabilität eines Gasturbinenbrenners ist von entscheidender Bedeutung für das Auftreten thermoakustischer Schwingungen. Die im Brenner entstehenden strömungsmechanischen Instabilitätswellen führen zur Ausbildung von Wirbeln. Diese auch als kohärente Strukturen bezeichneten Wirbel spielen eine bedeutende Rolle bei Mischungsvorgängen zwischen Luft und Brennstoff. Die Dynamik der kohärenten Strukturen beeinflusst die Verbrennung und die damit verbundene Wärmefreisetzung. Die Wirbel können daher zu einer periodischen Wärmefreisetzung der Flamme des Brenners und damit zu Druckschwankungen führen. Insbesondere wenn über die gesamte Fläche des Brenners keine homogene Vermischung von Brennstoff und Luft gegeben ist, wirkt sich die Entstehung von kohärenten Wirbelstrukturen stark auf die Ausbildung von thermoakustischen Instabilitäten aus. Somit liegt eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Schwingungsneigung eines Brenners in der Stabilisierung der Flamme des Vormischbrenners.

### Darstellung der Erfindung

[0004] Hier setzt die Erfindung an. Es soll ein Verfahren zum Minimieren der Druckamplitude thermoakustischer Schwingungen in Gasturbinenbrennkammern geschaffen werden. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das Verfahren zur Minimierung der Druckamplitude thermoakustischer Schwingungen in einer Gasturbine des unabhängigen Patentanspruchs 1, sowie durch die Vorrichtung gemäß unabhängigen

Patentanspruch 13 gelöst.

[0005] Die Menge an Brennstoff, die in großräumigen Wirbeln umgesetzt wird, kann durch kontrollierte Modulation des Brennstoffstroms der Vormischung eines Vormischbrenners beeinflusst werden. Erfindungsgemäß erfolgt die Eindüsung von flüssigem oder gasförmigem Brennstoff in den Vormischbrenner moduliert. Unter modulierter Eindüsung wird erfindungsgemäß jede zeitlich variierende Eindüsung von Brennstoff verstanden. Die Modulation kann erfindungsgemäß mit einer beliebigen Frequenz erfolgen. Bevorzugt erfolgt die Eindüsung mit einer Frequenz zwischen 0,3 Hz und 5 kHz, wobei der Bereich von 5 Hz bis 200 Hz besonders bevorzugt wird. Die Eindüsung erfolgt hierbei phasenunabhängig von den Druckschwingungen in dem Verbrennungssystem.

[0006] Figur 1 zeigt einen Vormischbrenner, bei dem das erfindungsgemäße Verfahren zum Minimieren der Druckamplitude thermoakustischer Schwingungen eingesetzt werden kann. Der Brenner weist zwei Brennstoffleitungen 13, 14 auf, die mit Öffnungen 15 versehen sind, durch welche der gasförmige oder flüssige Brennstoff 16 der Verbrennungsluft 7 zugemischt wird.

[0007] Die genaue Lage der Öffnungen 15, durch die der Brennstoff 16 der Verbrennungsluft 7 zugemischt wird, ist deutlicher aus Figur 2 zu ersehen. Die Brennstoffleitungen 13, 14 sind an den Teilkörpern 1, 2 angebracht, so daß die Öffnungen 15 entlang zweier Geraden aufgereiht sind, die parallel und im gleichen Abstand von der Hauptmittelachse 26 (= Brennerachse) des Vormischbrenners verlaufen. Sämtliche Öffnungen 15 liegen in einer Ebene, der Brennstoffinjektionsebene.

[0008] Erfindungsgemäß erfolgt die Eindüsung von Brennstoff durch die Öffnungen 15 nicht zeitlich konstant, sondern moduliert. Es wird also die Menge an Brennstoff, die durch die Brennstoffleitungen 13, 14 zugeführt wird, variiert.

[0009] Die Brennstoffleitungen 13, 14 erstrecken sich aus einer Beruhigungskammer (nicht gezeigt), welche von einer einzelnen Brennstoffleitung (nicht gezeigt) versorgt wird, in Richtung der Teilkörper 1, 2. Gemäß dieser Ausführungsform erfolgt die Modulation durch Öffnen und Schließen eines Brennstoffventils, wodurch die Menge an Brennstoff, die der Beruhigungskammer zugeführt wird, und damit auch die Menge an Brennstoff, die durch die Brennstoffleitungen 13, 14 transportiert wird, variiert werden kann. Nach dieser erfindungsgemäßen Ausführungsform wird also die Menge an Brennstoff in den beiden Brennstoffleitungen 13, 14 in gleicher Weise (symmetrisch) variiert.

[0010] Gemäß einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform wird die durch jeweils eine Brennstoffleitung 13, 14 zugeführte Menge an Brennstoff mit Hilfe von je einem Brennstoffventil variiert. Der oben beschriebene Brenner muß dazu technisch abgewandelt werden. Dies erfolgt entweder durch ein Hindurchführen der Brennstoffleitungen 13, 14 durch die

Beruhigungskammer, wodurch eine getrennte Versorgung der beiden Leitungen mit Brennstoff ermöglicht wird, oder durch das Anbringen von jeweils einer separaten Beruhigungskammer für jede der Brennstoffleitungen 13, 14. Diese separaten Beruhigungskammern werden dann getrennt mit Brennstoff versorgt. In beiden Fällen wird die Menge an Brennstoff, die durch die Brennstoffleitungen 13, 14 dem Vormischbrenner zugeführt wird, mit Hilfe von je einem Brennstoffventil variiert. Die Modulation der durch die Brennstoffleitung 13 zugeführten Menge an Brennstoff erfolgt somit unabhängig von der Modulation der durch die Brennstoffleitung 14 zugeführten Brennstoffmenge. Zwischen den beiden modulierten Brennstoffströmen kann also eine beliebige Phasenverschiebung vorliegen. Im Extremfall erfolgt die Modulation der Brennstoffströme um  $180^\circ$  phasenverschoben (antisymmetrisch), d.h. bei maximaler Eindüsung durch eine Brennstoffleitung erfolgt eine minimale Eindüsung durch die andere Brennstoffleitung.

[0011] Der oben beschriebene Fall der symmetrischen Modulation kann selbstverständlich auch mit dem abgewandelten Brenner, also mit Hilfe von zwei Brennstoffventilen durchgeführt werden. In diesem Fall entspricht die von dem einen Brennstoffventil durchgelassene Menge an Brennstoff zu jedem Zeitpunkt im wesentlichen der von dem zweiten Brennstoffventil durchgelassenen Menge an Brennstoff.

[0012] Somit kann erfindungsgemäß jede beliebige Phasenverschiebung  $\phi$  zwischen den beiden Brennstoffströmen verwendet werden. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Modulation in beiden Brennstoffleitungen gleichförmig ( $\phi = 0^\circ$ ). Gemäß einer weiteren, besonders bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Modulation der Brennstoffströme um  $180^\circ$  phasenverschoben, d.h. bei maximaler Eindüsung durch eine Brennstoffleitung erfolgt eine minimale Eindüsung durch die andere Brennstoffleitung.

[0013] Für den Fall  $\phi = 180^\circ$  wird besonders wirkungsvoll die Axialsymmetrie der Flamme des Vormischbrenners gestört. Bekanntermaßen sind im Fall niederfrequenter thermoakustischer Druckschwingungen hoher Amplitude großräumige axialsymmetrische Wirbelstrukturen für die periodische Wärmerfreisetzung verantwortlich. Die Wirkung solcher Strukturen auf die Verbrennung läßt sich am effektivsten beeinflussen, indem die Axialsymmetrie der Flamme gestört wird, was gemäß der vorliegenden Erfindung durch die phasenverschobene Modulation der beiden Vormischbrennstoffströme erreicht wird. Besonders vorteilhafte Effekte ergeben sich für eine Phasenverschiebung von  $180^\circ$ .

[0014] Alternativ kann die Eindüsung im Rahmen der vorliegenden Erfindung gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform so erfolgen, daß sie mit den Druckschwingungen in einer festen Phasenbeziehung steht. In diesem Fall wird die Phase der Druckschwingungen beispielsweise über ein Mikrofon in der

Brennkammer bestimmt und diese Phaseninformation zur Steuerung der Eindüsung verwendet.

[0015] Bevorzugt wird die momentane Eindüsung des Brennstoffs mit einem in dem Verbrennungssystem gemessenen Signal phasengekoppelt. Dabei wird in dem Verbrennungssystem ein Signal gemessen, das mit den thermoakustischen Schwingungen korreliert ist. Dieses Signal kann stromab des Brenners in der Brennkammer oder einer stromauf des Brenners angeordneten Beruhigungskammer gemessen werden. Es sind dann bevorzugt Mittel vorgesehen, die die momentane Eindüsung des Brennstoffs als Funktion des Meßsignal steuern.

[0016] Durch die Wahl einer geeigneten, je nach Art des gemessenen Signals verschiedenen Phasendifferenz zwischen Meßsignal und momentaner Eindüsung wirkt die modulierte Eindüsung des Brennstoffs in besonders geeigneter Weise der Ausbildung kohärenter Strukturen entgegen, so daß die Amplitude der Druckschwingung verringert wird.

[0017] Vorteilhaft wird in dem Verbrennungssystem ein Drucksignal gemessen, das die mit den thermoakustischen Schwingungen verbundenen Druckschwankungen anzeigt. Dies kann etwa mit einem oder mehreren in der Brennkammer, der Beruhigungskammer oder an einer Wand einer der Kammern angeordneten Mikrofonen geschehen.

[0018] Eine andere Möglichkeit besteht im Messen eines optischen Signals, das mit den Wärmerfreisetzungsschwankungen des Verbrennungsprozesses korreliert ist. Vorteilhaft wird dabei eine Chemolumineszenz-Emission gemessen, bevorzugt von einem der Radikale OH oder CH. Ein optisches Signal wird mit einem Sensor für sichtbare oder infrarote Strahlung aufgenommen, bevorzugt einer optischen Fasersonde.

[0019] Vorteilhaft wird das in dem Verbrennungssystem gemessene Signal gefiltert, phasengedreht und verstärkt, und das so gewonnene Signal als Eingangssignal für die Steuerung der momentanen Eindüsung von flüssigem oder gasförmigen Brennstoff benutzt. Falls notwendig, wird das Signal zusätzlich vor der Filterung verstärkt. Die Filterung unterdrückt ein störendes Rauschsignal und besteht vorzugsweise aus einem Bandpassfilter. Die Phasendrehung berücksichtigt, daß in der Regel durch die Anordnung der Meßsensoren, durch die Meßgeräte und die Leitungen selbst Phasenverschiebungen auftreten. Wird die relative Phase so gewählt, daß sich eine möglichst große Reduzierung der Druckamplituden ergibt, werden alle diese phasendrehenden Effekte implizit berücksichtigt. Der Wert der Phasendrehung kann, nach Bestimmung eines günstigen Wertes, fixiert bleiben. Da sich die günstigste relative Phase aber mit den Betriebsbedingungen ändern kann, bleibt die relative Phase vorteilhaft variabel und wird etwa über eine Kontrolle der Druckschwankungen so nachgeführt, daß stets eine große Unterdrückung gewährleistet ist.

[0020] Diese phasengekoppelte Modulation des Vormischbrennstoffstroms erfolgt, wie oben für die phasenunabhängige Modulation beschrieben, durch Öffnen und Schließen von einem (symmetrische Modulation) oder zwei Brennstoffventilen, wodurch die Menge an Brennstoff, die durch die Brennstoffleitungen 13, 14 zugeführt wird, variiert werden kann. Auch bei der phasengekoppelten Modulation erfolgt bei Verwendung von zwei Brennstoffventilen die Variation der durch die eine Brennstoffleitung zugeführten Menge an Brennstoff erfindungsgemäß unabhängig von der Modulation der durch die zweite Brennstoffleitung zugeführten Brennstoffmenge.

[0021] Somit kann erfindungsgemäß wiederum jede beliebige Phasenverschiebung  $\varphi$  zwischen den beiden Brennstoffströmen vorliegen. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Modulation in beiden Brennstoffleitungen gleichförmig ( $\varphi = 0^\circ$ ). Gemäß einer weiteren, besonders bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Modulation der Brennstoffströme um  $180^\circ$  phasenverschoben, also erfolgt beispielsweise bei maximaler Eindüsung durch die Brennstoffleitung 13 eine minimale Eindüsung durch die Brennstoffleitung 14.

[0022] Für den Fall  $\varphi = 180^\circ$  zeigen sich die oben für die phasenunabhängige Modulation beschriebenen besonders vorteilhaften Effekte.

[0023] Zur Modulation des eingedüsten Brennstoffs werden bevorzugt Brennstoffventile verwendet, die auf Steuerungssignale mit einer schnellen Änderung der Menge an eingedüstem Brennstoff reagieren (schnelle Brennstoffventile).

[0024] Die Menge des pro Zeiteinheit eingedüsten Brennstoffs kann im Rahmen der vorliegenden Erfindung in weiten Bereichen variiert werden. Wie oben bereits beschrieben, erfolgt erfindungsgemäß eine Modulation der in den Vormischbrenner eingedüsten Menge an Brennstoff. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt dabei neben der Eindüsung einer konstanten Menge an Brennstoff in den Vormischbrenner die Eindüsung einer zusätzlichen, modulierten Menge an Brennstoff in Form eines zeitlich begrenzten Pulses, wobei dann anschließend für eine bestimmte Zeit kein zusätzlicher Brennstoff eingedüst wird. Dieses Vorgehen ist notwendig, da bei einer pulsartigen Variation des gesamten Brennstoffstroms zu bestimmten Zeiten überhaupt kein Brennstoff eingedüst würde. Dies würde aber zu einem Abmagern und Verlöschen der Flamme des Brenners führen. Daher erfolgt gleichzeitig die Eindüsung einer konstanten Menge an Brennstoff und die Eindüsung zeitlich begrenzter Pulse einer zusätzlichen Menge an Brennstoff.

[0025] Bezeichnet man den Zeitraum der zusätzlichen Brennstoffeindüsung mit  $t_{\text{Zugabe}}$  und den Zeitraum ohne zusätzliche Brennstoffeindüsung mit  $t_0$ , so ergibt sich die Periodendauer der Modulation der Brennstoffeindüsung zu  $\tau = t_{\text{Zugabe}} + t_0$  und die Frequenz zu  $\nu = 1/\tau = 1/(t_{\text{Zugabe}} + t_0)$ .

[0026] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird mit dem Begriff "duty cycle" das Verhältnis von  $t_{\text{Zugabe}}$  zu  $\tau$  in Prozent ausgedrückt. Bei einem duty cycle von 50% ist somit der Zeitraum der zusätzlichen Brennstoffeindüsung gleich dem Zeitraum, in dem kein zusätzlicher Brennstoff eingedüst wird. Die Zugabe einer konstanten Menge an Brennstoff, also keiner zusätzlichen Eindüsung, entspricht einem duty cycle von 100%.

[0027] Die Eindüsung von Brennstoff in den Vormischbrenner erfolgt erfindungsgemäß mit einem duty cycle kleiner 100%. Bevorzugt wird der Bereich  $1\% \leq \text{duty cycle} \leq 50\%$ .

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0028] Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1 einen Brenner in perspektivischer Darstellung entsprechend aufgeschnitten;

Fig. 2 den Vormischbrenner gemäß Figur 1, jedoch aus einer anderen Perspektive und in vereinfachter Darstellung;

Fig. 3 ein Flußdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur phasengekoppelten modulierten Eindüsung von Brennstoff;

Fig. 4 eine Auftragung der relativen Druckschwankung bei phasengekoppelter modulierter Eindüsung von Brennstoff ( $\varphi = 0^\circ$ ) bezogen auf die Druckschwankung bei Eindüsung einer konstanten Brennstoffmenge (100 %) als Funktion der relativen Phase zwischen Meßsignal und momentaner Eindüsung;

Fig. 5 eine Auftragung der relativen Druckschwankung bei phasengekoppelter modulierter Eindüsung von Brennstoff ( $\varphi = 180^\circ$ ) bezogen auf die Druckschwankung bei Eindüsung einer konstanten Brennstoffmenge (100 %) als Funktion der relativen Phase zwischen Meßsignal und momentaner Eindüsung.

#### Wege zur Ausführung der Erfindung

[0029] Gemäß den oben beschriebenen allgemeinsten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung erfolgt die Eindüsung des Brennstoffs phasenunabhängig von den Druckschwingungen in dem Verbrennungssystem. Alternativ kann die Eindüsung gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform so erfolgen, daß sie mit den Druckschwingungen in einer festen Phasenbeziehung steht. Diese phasengekoppelte

modulierte Eindüsung von Brennstoff wird anhand eines Flußdiagramms (Figur 3) erläutert. Zur Ansteuerung der Brennstoffventile 30, 31 wird eine geschlossene Kontrollschleife verwendet. Das in der Brennkammer gemessene Druck- oder Lumineszenzsignal wird zur Rauschunterdrückung gefiltert (Bezugszeichen 36), phasengedreht (Bezugszeichen 38), verstärkt (Bezugszeichen 40) und zur Steuerung der Brennstoffventile 30, 31 verwendet. Der mit Hilfe der Brennstoffventile 30, 31 modulierte Brennstoff wird in den Brenner 32 eingedüst, an den sich die Kammer 34 anschließt, die hier die Brennkammer umfaßt. In einer der Kammern des Verbrennungssystems (Beruhigungskammer oder Brennkammer) findet die Messung des oben erwähnten Druck- oder Lumineszenzsignals statt, wodurch die Kontrollschleife geschlossen wird.

[0030] Figur 4 zeigt die Ergebnisse einer experimentellen Bestimmung der Druckschwankungen in einem Ausführungsbeispiel, bei dem das Verbrennungssystem bei einer Frequenz von rund 100 Hz zu axialsymmetrischen thermoakustischen Schwingungen neigte. In Figur 4 sind die Druckschwankungen bei phasengekoppelter modulierter Eindüsung von Brennstoff bezogen auf die Druckschwankungen bei Eindüsung einer konstanten Brennstoffmenge (100 %) gezeigt. Die Eindüsung des Brennstoffs erfolgte durch schnelle Brennstoffventile der Firma MOOG.

[0031] In dem vorliegenden Beispiel wurden mit einem B&K wassergekühlten Mikrophon die akustischen Resonanzen der Kammer aufgenommen. Die Signale wurden vorverstärkt, bandpassgefiltert und phasengedreht. Die Phasendrehung wurde dabei systematisch zwischen 0° und 190° variiert. Das resultierende Signal bildete den Trigger für einen Signalgenerator, der die Brennstoffventile über eine Verstärkerstufe ansteuerte. Die Modulation der beiden Brennstoffströme erfolgte ohne Phasenverschiebung zueinander ( $\phi = 0^\circ$ ). Figur 4 zeigt, daß die Druckamplituden bei geeignet gewählter Phasendrehung um bis zu 87 Prozentpunkte reduziert werden.

[0032] Figur 5 zeigt die Ergebnisse einer experimentellen Bestimmung der Druckschwankungen in einem Ausführungsbeispiel, bei dem das Verbrennungssystem bei einer Frequenz von rund 100 Hz zu axialsymmetrischen thermoakustischen Schwingungen neigte. In Figur 5 sind die Druckschwankungen bei phasengekoppelter modulierter Eindüsung von Brennstoff bezogen auf die Druckschwankungen bei Eindüsung einer konstanten Brennstoffmenge (100 %) gezeigt. Die Eindüsung des Brennstoffs erfolgte durch schnelle Brennstoffventile der Firma MOOG.

[0033] In dem vorliegenden Beispiel wurden mit einem B&K wassergekühlten Mikrophon die akustischen Resonanzen der Kammer aufgenommen. Die Signale wurden vorverstärkt, bandpassgefiltert und phasengedreht. Die Phasendrehung wurde dabei systematisch zwischen 0° und 360° variiert. Das resultierende Signal bildete den Trigger für einen Signalge-

nerator, der die Brennstoffventile über eine Verstärkerstufe ansteuerte. Die Signale an die beiden Brennstoffventile wurden zusätzlich in jedem Fall um 180° relativ zueinander phasenverschoben, wodurch die Modulation der beiden Brennstoffströme mit einer Phasenverschiebung von 180° ( $\phi = 180^\circ$ ) erfolgte. Figur 5 zeigt, daß die Druckamplituden bei geeignet gewählter relativer Phase um bis zu 55 Prozentpunkte reduziert werden.

#### Bezugszeichenliste

##### [0034]

1, 2	Teilkörper
7	Verbrennungsluft
13, 14	Brennstoffleitungen
15	Öffnungen
16	Brennstoff
26	Hauptmittelachse
30, 31	Brennstoffventile
32	Brenner
34	Kammer
36	Filtern
38	Phasendrehen
40	Verstärken

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Minimierung der Druckamplitude thermoakustischer Schwingungen in einem Verbrennungssystem, dadurch gekennzeichnet, daß die Eindüsung von flüssigem oder gasförmigen Vormischbrennstoff moduliert erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Modulation dadurch erfolgt, daß neben einer konstanten Menge an Vormischbrennstoff zusätzlich Brennstoff in Form eines zeitlich begrenzten Pulses eingedüst wird, wobei eine vollständige Modulationsperiode aus der Eindüsung des zeitlich begrenzten Pulses und aus der nachfolgend fehlenden Zugabe von zusätzlichem Brennstoff besteht.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Frequenz der Modulation zwischen 0,3 Hz und 5 kHz, bevorzugt zwischen 5 Hz und 200 Hz liegt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der duty cycle weniger als 100% beträgt, bevorzugt die Bedingung  $1\% \leq \text{duty cycle} \leq 50\%$  erfüllt ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die momentane Eindüsung von flüssigem oder gasförmigen Vormischbrennstoff mit einem in dem Verbrennungssystem gemessenen Signal phasengekoppelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das in dem Verbrennungssystem gemessene Signal gefiltert, phasengedreht und verstärkt wird, und das so gewonnene Signal Brennstoffdüsen steuert, die die momentane Eindüsung von flüssigem oder gasförmigen Vormischbrennstoff regeln. 5
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, bei dem das in dem Verbrennungssystem gemessene Signal ein Drucksignal oder ein Chemolumineszenzsignal ist, bevorzugt ein Chemolumineszenzsignal von der Emission eines der Radikale OH oder CH. 10
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, bei dem das in dem Verbrennungssystem gemessene Signal in der Brennkammer oder in einer Beruhigungskammer gemessen wird. 15
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Vormischbrennstoff mit Hilfe von zwei Brennstoffleitungen (13, 14) zugeführt wird und die Modulation der Menge an zugeführtem Brennstoff durch ein Brennstoffventil für beide Brennstoffleitungen erfolgt. 20
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Vormischbrennstoff mit Hilfe von zwei Brennstoffleitungen (13, 14) zugeführt wird und die Modulation der Menge an zugeführtem Brennstoff durch jeweils ein Brennstoffventil pro Brennstoffleitung erfolgt. 25
11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Modulation der zugeführten Menge an Vormischbrennstoff in den beiden Brennstoffleitungen mit einer beliebigen relativen Phasenverschiebung  $\phi$  erfolgt. 30
12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Modulation der zugeführten Menge an Vormischbrennstoff in den beiden Brennstoffleitungen mit einer Phasenverschiebung  $\phi = 0^\circ$  oder mit einer Phasenverschiebung  $\phi = 180^\circ$  erfolgt. 35
13. Vorrichtung zur Kontrolle thermoakustischer Schwingungen in einem Verbrennungssystem mit einem Brenner, wobei der Brenner zwei Brennstoffleitungen (13, 14) mit Öffnungen (15) zur Eindüsung von flüssigem oder gasförmigen Brennstoff aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Verbrennungssystem ein oder mehrere Sensoren zur Messung thermoakustischer Schwingungen, sowie Mittel zur Steuerung der momentanen Eindüsung von Vormischbrennstoff in Abhängigkeit von dem Meßsignal besagter Sensoren angeordnet sind. 40
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, bei der der eine oder die mehreren in dem Verbrennungssystem angeordneten Sensoren zur Messung thermoakustischer Schwingungen Drucksensoren, bevorzugt Mikrophone, besonders bevorzugt wassergekühlte Mikrophone, sind. 45
15. Vorrichtung nach Anspruch 13, bei der der eine oder die mehreren in dem Verbrennungssystem angeordneten Sensoren zur Messung thermoakustischer Schwingungen optische Sensoren für sichtbare oder infrarote Strahlung, bevorzugt optische Fasersonden, sind. 50
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, bei der die Mittel zur Steuerung der momentanen Eindüsung von zusätzlichem Brennstoff Mittel zum Filtern, Phasendrehen und Verstärken des Meßsignals besagter Sensoren umfassen. 55

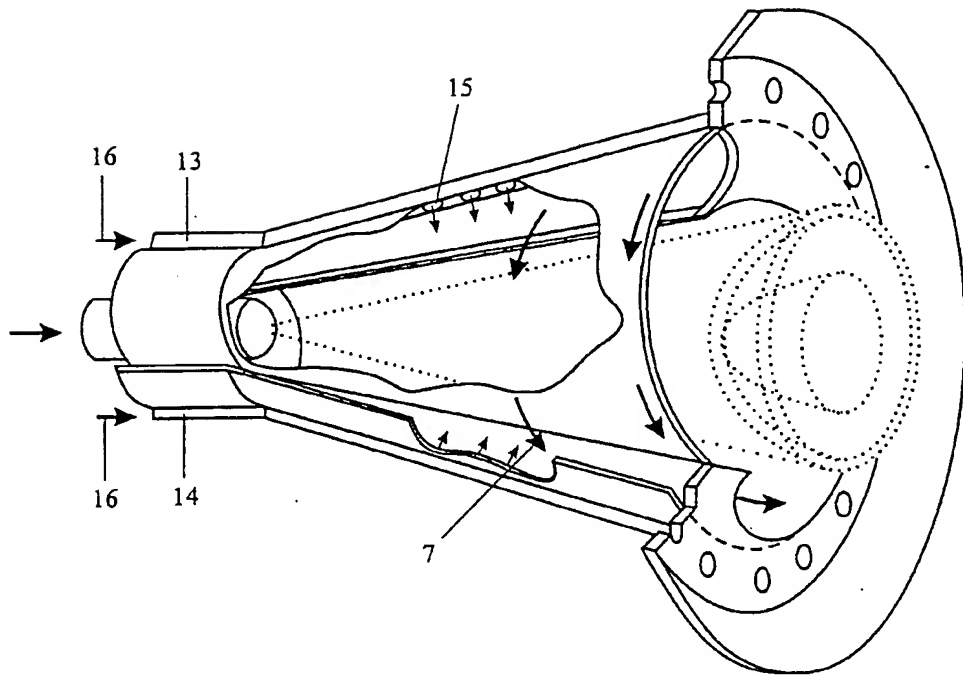


Fig. 1

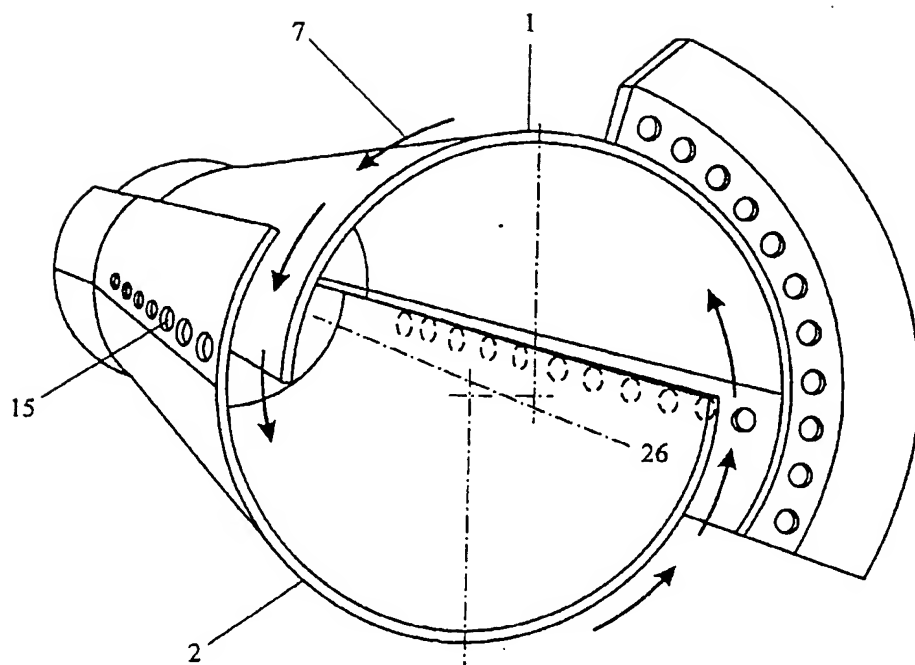


Fig. 2



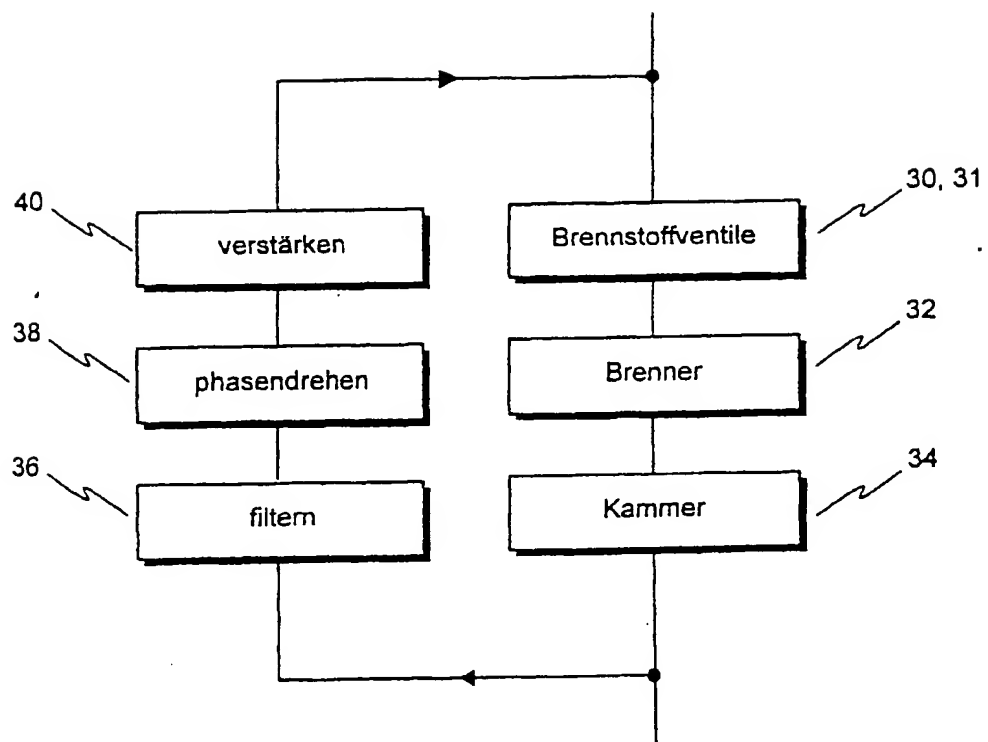


Fig. 3

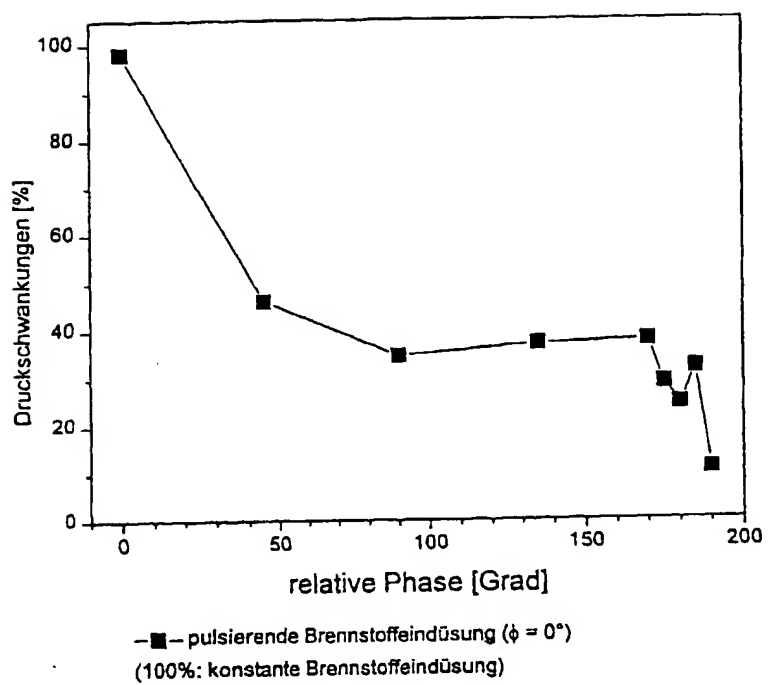


Fig. 4

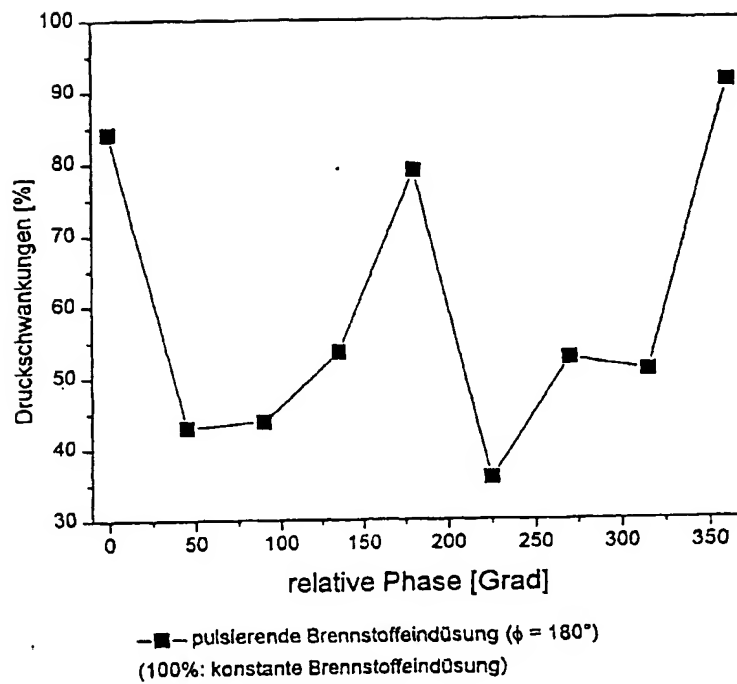


Fig. 5



Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 98 81 0903

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
X	WO 93 10401 A (SIEMENS AG) 27. Mai 1993  * Seite 1, Zeile 13-27; Abbildungen 1,5 * * Seite 18, Zeile 34 - Seite 20, Zeile 13 *	1-3,5, 7-11,13, 14,16	F02C9/28
X	US 5 791 889 A (RICHARDS GEORGE A ET AL) 11. August 1998 * Spalte 7, Zeile 54 - Spalte 8, Zeile 17 * * Spalte 10, Zeile 1 - Zeile 33; Abbildungen *	1-3,5-8	
X	US 5 428 951 A (SCHADOW KLAUS ET AL) 4. Juli 1995 * das ganze Dokument *	1-8, 11-14,16	
X	US 5 005 353 A (ACTON ELIZABETH ET AL) 9. April 1991 * Spalte 34, Zeile 23 - Spalte 35, Zeile 26; Abbildung 16 *	1-3,13	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
X	US 4 557 106 A (HECKL MARIA A ET AL) 10. Dezember 1985 * Ansprüche *	1-16	F02C F23R
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>DEN HAAG</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>4. Februar 1999</b>	Prüfer <b>Argentini, A</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 (03/92) (PouCo)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 98 81 0903

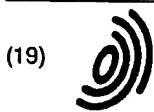
In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

04-02-1999

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9310401 A	27-05-1993	CZ 9401149 A	17-08-1994
		EP 0611434 A	24-08-1994
		JP 7501137 T	02-02-1995
US 5791889 A	11-08-1998	CA 2187255 A	14-04-1997
		DE 19641843 A	17-04-1997
		FR 2739913 A	18-04-1997
		GB 2306216 A,B	30-04-1997
		IT GE960088 A	09-04-1998
		JP 9133309 A	20-05-1997
US 5428951 A	04-07-1995	KEINE	
US 5005353 A	09-04-1991	GB 2191606 A,B	16-12-1987
		US 5082421 A	21-01-1992
		US 5141391 A	25-08-1992
		US 4967550 A	06-11-1990
US 4557106 A	10-12-1985	DE 3439903 A	09-05-1985
		FR 2554170 A	03-05-1985
		GB 2165964 A,B	23-04-1986
		JP 1788990 C	10-09-1993
		JP 4072982 B	19-11-1992
		JP 60111027 A	17-06-1985

EPO FORM P441

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82



(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 918 152 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
26.05.1999 Patentblatt 1999/21

(21) Anmeldenummer: 97810902.3

(22) Anmeldetag: 24.11.1997

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: **F02C 9/26**, G10K 11/178,  
F02B 51/06, F23R 3/28,  
F23N 5/24, F23N 5/16,  
F23N 5/08

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC  
NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: ABB RESEARCH LTD.  
8050 Zürich (CH)

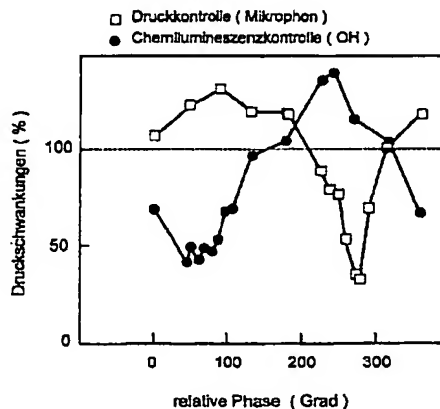
(72) Erfinder:  
• Gutmark, Ephraim Prof.,  
Baton Rouge, LA 70810 (US)

• Paschereit, Christian Oliver, Dr.,  
CH-5400 Baden (CH)  
• Welsenstein, Wolfgang  
CH 5453 Remetschwil (CH)

(74) Vertreter: Klein, Ernest et al  
Asea Brown Boveri AG  
Immaterialgüterrecht(TEI)  
Haselstrasse 16/699 I  
5401 Baden (CH)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Kontrolle thermoakustischer Schwingungen in einem Verbrennungssystem**

(57) Eine Vorrichtung zur Kontrolle thermoakustischer Schwingungen in einem Verbrennungssystem mit einer Brennkammer und einem Brenner ist dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich des Brenners Mittel zur akustischen Anregung des Arbeitsgases angeordnet sind.



*Fig. 2*

EP 0 918 152 A1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kontrolle thermoakustischer Schwingungen in einem Verbrennungssystem mit einer Brennkammer und einem Brenner.

## Stand der Technik

[0002] Thermoakustische Schwingungen stellen eine Gefahr für jede Art von Verbrennungsanwendungen dar. Sie führen zu Druckschwankungen hoher Amplitude, zu einer Einschränkung des Betriebsbereiches und können die mit der Verbrennung verbundenen Emissionen erhöhen. Diese Probleme treten besonders in Verbrennungssystemen mit geringer akustischer Dämpfung, wie sie moderne Gasturbinen oft darstellen, auf.

[0003] In herkömmlichen Brennkammern wirkt die in die Brennkammer einströmende Kühlluft schalldämpfend und trägt damit zur Dämpfung von thermoakustischen Schwingungen bei. Um niedrige  $\text{NO}_x$ -Emissionen zu erzielen, wird in modernen Gasturbinen ein zunehmender Anteil der Luft durch die Brenner selbst geleitet und der Kühlluftstrom reduziert. Durch die damit einhergehende geringere Schalldämpfung treten die eingangs angesprochenen Probleme in solchen modernen Brennkammern demnach verstärkt auf.

[0004] Eine Möglichkeit der Schalldämpfung besteht im Ankoppeln von Helmholtz-Dämpfern in der Brennkammerhaube oder im Bereich der Kühlluftzuführung. Bei engen Platzverhältnissen wie sie für moderne, kompakt gebaute Brennkammern typisch sind, kann die Unterbringung solcher Dämpfer jedoch Schwierigkeiten bereiten und ist mit großem konstruktiven Aufwand verbunden.

## Darstellung der Erfindung

[0005] Hier setzt die Erfindung an. Es soll ein Vorrichtung zur Kontrolle thermoakustischer Schwingungen geschaffen werden, die thermoakustische Schwingungen wirkungsvoll unterdrückt und mit möglichst geringem konstruktiven Aufwand verbunden ist. Weiter soll ein wirkungsvolles Verfahren zur Kontrolle thermoakustischer Schwingungen geschaffen werden. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das Verfahren zur Kontrolle thermoakustischer Schwingungen des unabhängigen Anspruchs 1 und die Vorrichtung zur Kontrolle thermoakustischer Schwingungen des unabhängigen Anspruchs 8 gelöst.

[0006] Kohärente Strukturen spielen eine entscheidende Rolle bei Mischungsvorgängen zwischen Luft und Brennstoff. Die räumliche und zeitliche Dynamik dieser Strukturen beeinflusst die Verbrennung und die Wärmefreisetzung. Der Erfindung liegt nun die Idee zugrunde, der Ausbildung kohärenter Strukturen entgegenzuwirken. Wird die Entstehung von Wirbelstrukturen

am Brenneraustritt reduziert oder verhindert, so wird dadurch auch die periodische Wärmefreisetzungsschwankung reduziert. Da die periodischen Wärmefreisetzungsschwankungen die Grundlage für das Auftreten thermoakustischer Schwingungen sind, wird die Amplitude der thermoakustischen Schwingungen dadurch reduziert.

[0007] Erfindungsgemäß wird in dem Verfahren zur Kontrolle thermoakustischer Schwingungen in einem Verbrennungssystem die sich im Bereich des Brenners ausbildende Scherschicht akustisch angeregt. Mit Scherschicht ist hier die Mischungsschicht bezeichnet, die sich zwischen zwei Fluidströmungen unterschiedlicher Geschwindigkeiten bildet.

[0008] Eine Beeinflussung der Scherschicht hat den Vorteil, daß eingebrachte Anregungen in der Scherschicht verstärkt werden. Somit wird zur Auslöschung eines vorhandenen Schallfelds nur wenig Anregungsenergie benötigt. Im Gegensatz dazu steht das Prinzip des Antischalls, bei dem ein vorhandenes Schallfeld durch ein phasenverschobenes Schallfeld gleicher Energie ausgelöscht wird.

[0009] Die Scherschicht kann erfindungsgemäß sowohl stromab als auch stromauf des Brenners angeregt werden. Stromab des Brenners kann die Scherschicht direkt angeregt werden. Bei Anregung stromauf des Brenners wird die akustische Anregung zunächst in das Arbeitsgas, beispielsweise Luft, eingebracht und überträgt sich dann nach Durchgang des Arbeitsgases durch den Brenner in die Scherschicht.

[0010] Da nur geringe Anregungsleistungen notwendig sind, kann die Schallenergie beispielsweise durch akustische Treiber, wie etwa Lautsprecher, in die Strömung eingebracht werden.

[0011] Alternativ können eine oder mehrere Kammerwände mechanisch zu Schwingungen bei der gewünschten Frequenz angeregt werden.

[0012] Bevorzugt wird die momentane akustische Anregung der Scherschicht mit einem in dem Verbrennungssystem gemessenen Signal phasengekoppelt. Dabei wird in dem Verbrennungssystem ein Signal gemessen, das mit den thermoakustischen Fluktuationen korreliert ist. Dieses Signal kann stromab des Brenners in der Brennkammer oder einer stromauf des Brenners angeordneten Beruhigungskammer gemessen werden. Es sind dann bevorzugt Mittel vorgesehen, die die momentane akustische Anregung als Funktion des Meßsignal steuern.

[0013] Durch die Wahl einer geeigneten, je nach Art des gemessenen Signals verschiedenen Phasendifferenz zwischen Meßsignal und momentanem akustischen Anregungssignal wirkt die akustische Anregung der Ausbildung kohärenter Strukturen entgegen, so daß die Amplitude der Druckpulsation verringert wird.

[0014] Vorteilhaft wird in dem Verbrennungssystem ein Drucksignal gemessen, das die mit den thermoakustischen Schwingungen verbunden Druckschwankungen aufnimmt. Dies kann etwa mit einem oder

mehreren in der Brennkammer, der Beruhigungskammer oder an einer Wand einer der Kammern angeordneten Mikrofonen geschehen.

[0015] Eine andere Möglichkeit besteht im Messen eines optischen Signals, das mit den Wärmetreisetzungs-schwankungen des Verbrennungsprozesses korreliert ist. Vorteilhaft wird dabei eine Chemilumineszenz-Emission gemessen, bevorzugt von einem der Radikale OH oder CH. Ein optisches Signal wird mit einem Sensor für sichtbare oder infrarote Strahlung aufgenommen, bevorzugt einer optischen Fasersonde.

[0016] Vorteilhaft wird das in dem Verbrennungssystem gemessene Signal gefiltert, phasengedreht und verstärkt, und das so gewonnene Signal als Eingangssignal für einen akustischen Treiber benutzt, der die momentane akustische Anregung der Scherschicht erzeugt. Falls notwendig, wird das Signal vor der Filterung verstärkt. Die Filterung unterdrückt ein störendes Rauschsignal und besteht vorzugsweise in einem Bandpassfilter. Die Phasendrehung berücksichtigt, daß in der Regel durch die Anordnung der Meßsensoren und akustischen Treiber, und durch die Meßgeräte und Leitungen selbst Phasenverschiebungen auftreten. Wird die relative Phase so gewählt, daß sich eine möglichst große Reduzierung der Druckamplituden ergibt, werden alle diese phasendrehenden Effekte implizit berücksichtigt. Der Wert der Phasendrehung kann, nach Bestimmung eines günstigen Wertes, fixiert bleiben. Da sich die günstigste relative Phase aber mit der Zeit ändern kann, bleibt die relative Phase vorteilhaft variabel und wird etwa über eine Kontrolle der Druckschwankungen so nachgeführt, daß stets eine große Unterdrückung gewährleistet ist.

[0017] Der akustische Treiber kann ein in die Gasströmung eingebrachter akustischer Treiber wie etwa ein Lautsprecher sein. Alternativ erfolgt die akustische Anregung der Scherschicht durch eine mechanische Anregung der Wände der Brenn- oder Beruhigungskammer.

[0018] Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1 ein Flußdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Kontrolle thermoakustischer Schwingungen;

Fig. 2 für ein Ausführungsbeispiel eine Auftragung der relativen Druckschwankung bezogen auf die Druckschwankung ohne Kontrolle (100 %) als Funktion der relativen Phase zwischen Meßsignal und momentaner akustischer Anregung;

[0019] Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens wird anhand eines Flußdiagramm (Fig. 1) erläutert. Zur Ansteuerung des akustischen Treibers 10 wird eine geschlossene Kontrollschleife ver-

wendet. Das in der Brennkammer 16 gemessene Druck- oder Lumineszenzsignal wird zur Rauschunterdrückung gefiltert (Bezugszeichen 20), phasengedreht (Bezugszeichen 22) und verstärkt (Bezugszeichen 24). Der akustische Treiber 10 bringt im Flußdiagramm von Fig. 1 die akustische Energie in die Luftzufuhr 12, also in die Strömung selbst ein. Werden durch den akustischen Treiber etwa die Brennkammerwände selbst zu Schwingungen angeregt, so entfällt das Element 12 im Flußdiagramm. An den Brenner 14 schließt sich die Kammer 16 an, die hier die Brennkammer umfaßt. In einer der Kammern des Verbrennungssystems (Beruhigungskammer oder Brennkammer) findet die Messung des oben erwähnten Druck- oder Lumineszenzsignals statt, wodurch die Kontrollschleife geschlossen wird.

[0020] Figur 2 zeigt die Ergebnisse experimenteller Bestimmungen der Druckschwankungen in einem Ausführungsbeispiel, bei dem das Verbrennungssystem bei einer Frequenz von 104 Hz zu axialsymmetrischen thermoakustischen Schwingungen neigte. In Fig. 2 sind die Druckschwankungen unter Kontrolle eines Drucksignals (offene Quadrate) und eines OH-Lumineszenzsignals (volle Kreise) gezeigt, bezogen auf die Druckschwankungen ohne Kontrolle (100 %). Die akustische Anregung erfolgte durch innerhalb des Verbrennungssystems angeordnete Lautsprecher. Erste Versuche zeigten, daß eine akustische Anregung stromauf des Brenners effektiver war als eine Anregung stromab des Brenners, so daß die weiteren Experimente mit akustischer Anregung stromauf des Brenners durchgeführt wurden.

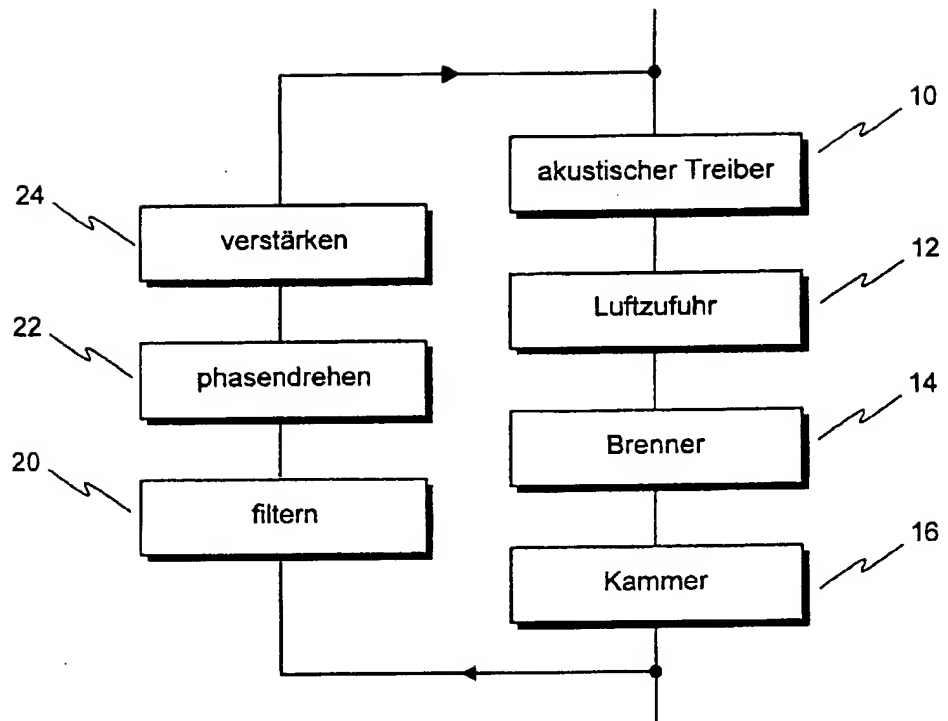
[0021] In einer ersten Betriebsart nahm ein B&K wassergekühltes Mikrofon die akustischen Resonanzen der Kammer auf. Die Signale wurden vorverstärkt, bandpass-gefiltert und phasengedreht. Die Phasendrehung wurde dabei systematisch zwischen 0° und 360° variiert. Das resultierende Signal bildete den Trigger für einen Signalgenerator, der die Lautsprecher über einen Audioverstärker ansteuerte. Figur 2 zeigt, daß die Druckamplituden bei geeignet gewählter relativer Phase um etwa 70% reduziert werden (offene Quadrate).

[0022] In einer zweiten Betriebsart wurde als Maß der Wärmetreisetzungsrate ein OH-Chemilumineszenzsignal durch zwei optische Faser-Sonden aufgenommen. Das Signal einer der Sonden wurde, wie bei der ersten Betriebsart beschrieben, zur Rückkopplung benutzt. In vorliegenden Ausführungsbeispiel wurde damit eine Reduktion der Druckamplituden um etwa 60% erreicht (volle Kreise). Die unterschiedlichen Werte für die Unterdrückung, und die für maximale Unterdrückung notwendige relativen Phasen bei den beiden Betriebsarten sind nach gegenwärtiger Kenntnis auf die verschiedenen Positionen der entsprechenden Sensoren (Mikrofon bzw. Fasersonde) und die unterschiedlichen Arten der gemessenen Signale zurückzuführen.



# Patentansprüche

1. Verfahren zur Kontrolle thermoakustischer Schwingungen in einem Verbrennungssystem mit einer Brennkammer und einem Brenner, 5  
bei dem die sich im Bereich des Brenners ausbildende Scherschicht akustisch angeregt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, 10  
bei dem die momentane akustische Anregung der Scherschicht mit einem in dem Verbrennungssystem gemessenen Signal phasengekoppelt wird. 15
3. Verfahren nach Anspruch 2, 20  
bei dem das in dem Verbrennungssystem gemessene Signal gefiltert, phasengedreht und verstärkt wird, und das so gewonnene Signal eine akustische Quelle treibt, die die momentane akustische Anregung der Scherschicht erzeugt. 25
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, 30  
bei dem das in dem Verbrennungssystem gemessene Signal ein Drucksignal ist.
5. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, 35  
bei dem das in dem Verbrennungssystem gemessene Signal ein Chemilumineszenzsignal ist, bevorzugt ein Chemilumineszenzsignal von der Emission eines der Radikale OH oder CH.
6. Verfahren nach einem der vorigen Ansprüche, 40  
bei dem die akustische Anregung der Scherschicht durch eine mechanische Anregung der Brennkammerwände erfolgt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, 45  
bei dem das in dem Verbrennungssystem gemessene Signal in der Brennkammer oder in einer Beruhigungskammer gemessen wird. 50
8. Vorrichtung zur Kontrolle thermoakustischer Schwingungen in einem Verbrennungssystem mit einer Brennkammer und einem Brenner, dadurch gekennzeichnet, daß 55  
im Bereich des Brenners Mittel zur akustischen Anregung des Arbeitsgases angeordnet sind.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8,  
bei der besagte Mittel zur akustischen Anregung stromauf des Brenners angeordnet sind.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9,  
bei der besagte Mittel zur akustischen Anregung zumindest eine Wand des Verbrennungssystems mechanisch in Schwingung versetzen.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, weiter umfassend  
einen oder mehrere in dem Verbrennungssystem angeordnete Sensoren zur Messung thermoakustischer Schwingungen, und Mittel zur Steuerung des momentanen akustischen Anregung abhängig von dem Meßsignal besagter Sensoren.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11,  
bei der der eine oder die mehreren in dem Verbrennungssystem angeordneten Sensoren zur Messung thermoakustischer Schwingungen Drucksensoren, bevorzugt Mikrophone, besonders bevorzugt wassergekühlte Mikrophone, sind.
13. Vorrichtung nach Anspruch 11,  
bei der der eine oder die mehreren in dem Verbrennungssystem angeordneten Sensoren zur Messung thermoakustischer Schwingungen optische Sensoren für sichtbare oder infrarote Strahlung, bevorzugt optische Fasersonden, sind.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 13,  
bei der die Mittel zur Steuerung der momentanen akustischen Anregung Mittel zum Filtern, Phasendrehen und Verstärken des Meßsignals besagter Sensoren umfassen.



*Fig. 1*

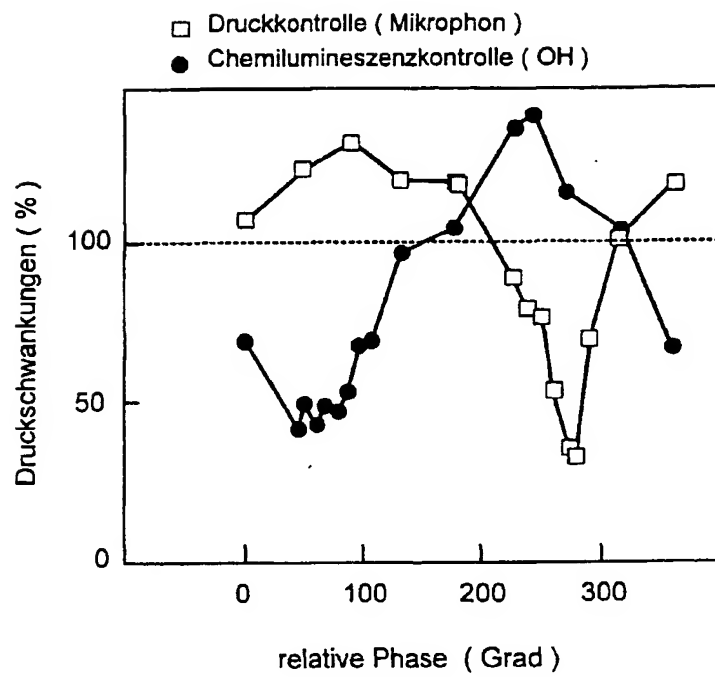


Fig. 2



Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 97 81 0902

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
X	US 4 557 106 A (HECKL MARIA A ET AL) 10. Dezember 1985 * Spalte 6, Zeile 52 - Spalte 7, Zeile 50; Abbildungen * * Spalte 2, Zeile 16 - Zeile 31 *	1-14	F02C9/26 G10K11/178 F02B51/06 F23R3/28 F23N5/24 F23N5/16 F23N5/08
X	US 5 428 951 A (WILSON KENNETH ET AL) 4. Juli 1995 * Abbildungen * * Spalte 2, Zeile 29 - Spalte 2, Zeile 53 * * Spalte 8, Zeile 57 - Spalte 8, Zeile 68 * * Spalte 6, Zeile 58 - Spalte 7, Zeile 6 *	1-4, 7-12, 14	
X	GB 1 495 015 A (BRITISH PETROLEUM CO) 14. Dezember 1977 * das ganze Dokument *	1, 2, 4, 7-9, 11, 12	
A	EP 0 249 812 A (STAUFFER CHEMICAL CO) 23. Dezember 1987 * Zusammenfassung *	5	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)  F02C G10K F02B F23R
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenamt		Prüfer	
DEN HAAG		Raspo, F	
Abschlußdatum der Recherche			
9. Juni 1998			
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschrittliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03/92 (Pct-Cat)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 97 81 0902

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Daten des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

09-06-1998

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4557106 A	10-12-1985	DE 3439903 A	09-05-1985
		FR 2554170 A	03-05-1985
		GB 2165964 A,B	23-04-1986
		JP 1788990 C	10-09-1993
		JP 4072982 B	19-11-1992
		JP 60111027 A	17-06-1985
US 5428951 A	04-07-1995	KEINE	
GB 1495015 A	14-12-1977	KEINE	
EP 0249812 A	23-12-1987	US 4741755 A	03-05-1988
		AU 590421 B	02-11-1989
		AU 7388287 A	10-12-1987
		BR 8702908 A	08-03-1988
		JP 62298585 A	25-12-1987
		US 4780123 A	25-10-1988
		US 4808733 A	28-02-1989
		US 4780124 A	25-10-1988

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang: siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts Nr. 12/82